



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Patentschrift**  
⑩ **DE 198 01 658 C 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 01 D 21/00**  
G 01 D 18/00  
G 01 R 35/00  
// H01L 39/22

②1 Aktenzeichen: 198 01 658.1-52  
②2 Anmeldetag: 17. 1. 98  
④3 Offenlegungstag: -  
④5 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 11. 2. 99

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦3 Patentinhaber:

Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch den  
Bundesminister für Wirtschaft, dieser vertreten  
durch den Präsidenten der  
Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, 38116  
Braunschweig, DE

⑦4 Vertreter:

GRAMM, LINS & PARTNER, 38122 Braunschweig

⑦2 Erfinder:

Funck, Torsten, Dr.-Ing., 38124 Braunschweig, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

IEEE Trans. Instrum. Meas., 44, 1995, S. 223;  
Kohlrausch, F.: Praktische Physik, Bd.2, B.G.  
Teubner Stuttgart, 1985, S. 40, 41, 57;

⑤4 Verfahren zur Verkörperung einer physikalischen Referenzgröße und Einrichtung zur Bildung einer  
physikalischen Referenzgröße

⑤1 Zur Verkörperung einer physikalischen Referenzgröße  
aus einer Summierung von Summationsgrößen, die eine  
Einheitsgröße oder ein Vielfaches der Einheitsgröße sind,  
zur Bildung aller ganzzahligen Vielfachen der Einheitsgröße,  
werden aus den Einheitsgrößen Summationsgrößen  
gebildet, die jedem  $3^n$ -fachen ( $n = 0, 1, 2, \dots, m$ ) der Ein-  
heitsgröße entsprechen und die Summationsgrößen zur  
Summierung mit positivem oder negativem Vorzeichen  
oder gar nicht herangezogen werden. Die physikalischen  
Referenzgrößen lassen sich dadurch mit einer geringeren  
Anzahl von Anschlüssen bzw. Abgriffen realisieren.

DE 198 01 658 C 1

DE 198 01 658 C 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verkörperung einer physikalischen Referenzgröße aus einer Summierung von Summationsgrößen, die eine Einheitsgröße oder ein Vielfaches der Einheitsgröße sind, zur Bildung von beliebig vorgegebenen ganzzahligen Vielfachen der Einheitsgröße.

Die Erfindung betrifft ferner eine Einrichtung zur Bildung einer physikalischen Referenzgröße als ganzzahliges Vielfaches einer Einheitsgröße, verkörpert aus einer Summierung von Summationsgrößen, die die verkörperte Einheitsgröße oder verkörperte Vielfache der Einheitsgröße sind.

Es ist grundsätzlich bekannt, Vergleichsnormale durch Kaskadierung von gut bekannten Einheitsgrößen herzustellen (z. B. Kohlrausch, Praktische Physik, Stuttgart 1985, Band 2, Seite 57 für hochohmige Widerstände). Es ist ferner bekannt, daß Josephson-Elemente als Kryo-Spannungsnormale verwendbar sind (Kohlrausch a.o., 40 f.). Demgemäß ist es bekannt, als verkörperte physikalische Referenzgröße ein Kryo-Spannungsnormal mit einer Vielzahl von in Reihe geschalteten Josephson-Elementen aufzubauen.

Josephson-Elemente erzeugen durch Absorption von Mikrowellenstrahlung eine definierte Spannung, wenn sie durch Kühlung auf sehr niedrige Temperaturen in einen supraleitenden Zustand versetzt werden. Die Wirksamerschaltung der einzelnen Elemente erfolgt durch einen Gleichstrom von einigen mA. Aus technologischen Gründen liegt die optimale Betriebsfrequenz derartiger Schaltungen im Mikrowellenbereich bei 10 GHz, woraus eine Spannung von 20  $\mu$ V resultiert. Will man daher ein Spannungsnormal von größenordnungsmäßig 1 V realisieren, benötigt man hierzu 50 000 Josephson-Elemente, für ein Spannungsnormal von 10 V demgemäß 500 000 in Reihe geschaltete Elemente. Aus IEEE Trans. Instrum. Meas. 44 (1995), 223 ist bekannt, zur Anwahl jedes einzelnen Elements die durch die Elemente gebildeten Reihen in einer binären Aufteilung anzuordnen, so daß Abgriffe zur Stromeinspeisung bei jeweils: 1, 2, 4, 8, ... Elementen vorgesehen werden. Für ein Spannungsnormal von 1 V werden dann 16 und für 10 V 19 Abgriffe benötigt. Da derartige Spannungsnormale auf integrierten Schaltungen realisiert werden, deren Anschlüsse begrenzt sind, wird in der Praxis eine Einbuße der Funktionalität des Spannungsnormals in Kauf genommen, indem auf einige der Anschlüsse einfach verzichtet wird.

Ein ähnliches Problem ergibt sich beim Aufbau von Stromkomparatoren, bei denen ein Durchflutungsvergleich vorgenommen wird. Hierbei werden in bekannter Technik zahlreiche Spulen mit binär abgestuften Windungszahlen realisiert, um verschiedene Stromverhältnisse vergleichen zu können. Die Anzahl der Abgriffe einschließlich der hierfür benötigten Beschaltung ist ein limitierender Faktor für einen kompakteren Aufbau des Stromkomparators.

Der Erfindung liegt somit die Problemstellung zugrunde, die Verkörperung einer physikalischen Referenzgröße zu ermöglichen, bei der ohne Einbuße der Funktionalität eine Verringerung der Anschlüsse möglich ist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit einem Verfahren der eingangs erwähnten Art dadurch gelöst, daß für  $n = 0, 1, 2, \dots, m$  Summationsgrößen gebildet werden, die jedem  $3^n$ -fachen der Einheitsgröße entsprechen und daß durch ihre Summierung mit positivem oder negativem Vorzeichen und ggfs. durch ihre Außerachtlassung die beliebig vorgegebenen ganzzahligen Vielfachen der Einheitsgröße gebildet werden.

Zur Lösung des Problems ist ferner eine Einrichtung zur Bildung einer physikalischen Referenzgröße der eingangs erwähnten Art dadurch gekennzeichnet, daß für  $n = 0, 1, 2, \dots, m$  die Summationsgrößen für jedes  $3^n$ -fache der Ein-

heitsgröße gebildet sind und daß ein Summationsnetzwerk die Summationsgrößen mit positivem oder negativem Vorzeichen und ggfs. gar nicht wirksam schaltet.

Die Erfindung beruht auf der Ausnutzung der Erkenntnis, daß in den meisten Fällen die Einheitsgrößen nicht nur wirksam und unwirksam geschaltet werden können, sondern, beispielsweise durch eine Stromrichtungsumkehr, mit positivem oder negativem Vorzeichen realisierbar sind. Erfindungsgemäß wird in diesem Fall die Reihenschaltung der Einheitsgrößen in natürlichen Dreierpotenzen vorgenommen, so daß die Reihenschaltung mit Abgriffen nach 1, 3, 9, 27, ... Elementen versehen wird. Die so gebildeten Ketten werden als Summationsgrößen verwendet, beispielsweise gemeinsam bestromt.

Für die oben erwähnten Beispiele eines Josephson-Spannungsnormals für 1 V reduziert sich die Anzahl der benötigten Abgriffe somit auf 12 statt 16 und für 10 V auf 14 statt 19.

Durch die erfindungsgemäße Bildung der Summationsgrößen läßt sich jedes einzelne ganzzahlige Vielfache der Einheitsgröße erzeugen (sogar mit positivem und mit negativem Vorzeichen). Hierzu werden die einzelnen Summationsgrößen in geeigneter Weise mit ihrem positivem bzw. negativem Vorzeichen verwendet.

Gemäß dem Beispiel eines Josephson-Spannungsnormals können die Summationsgrößen, also die  $3^n$ -fachen der Einheitsgrößen durch die Summierung einer entsprechenden Anzahl der Einheitsgrößen gebildet sein. Zwischen zwei Abgriffen liegen daher die der Summationsgröße entsprechende Anzahl der Einheitsselemente in Serie geschaltet.

Gemäß dem anderen Ausführungsbeispiel eines Stromkomparators auf der Basis eines Durchflutungsvergleiches ist es aber auch möglich, nicht eine entsprechende Vielzahl von Einheitsgrößen zu verwenden, sondern das  $3^n$ -fache der Einheitsgröße unmittelbar als selbständigen Wert auszubilden, im Beispiel des Stromkomparators durch eine Wicklung mit einer Windungszahl, die gegenüber einer Grundwindungszahl eine natürliche Dreierpotenz ist.

Ein erfindungsgemäß hergestellter Stromkomparator läßt sich wegen der geringeren Anzahl der Abgriffe deutlich kompakter als herkömmliche Stromkomparatoren aufbauen. Dabei ist eine herkömmliche stufenförmige Kalibrierung möglich, weil für einen Stromkomparator jeweils zwei Wicklungsketten zur Verfügung stehen, so daß lediglich eine zusätzlich kalibrierte Einheitswicklung benötigt wird, um die beiden Einheitswicklungen der beiden Wicklungsketten zu kalibrieren, danach mit den drei Einheitswicklungen die Dreierwicklung zu kalibrieren und mit den beiden kalibrierten Dreierwicklungen sowie den drei kalibrierten Einerwicklungen die Neunerwicklung zu kalibrieren usw.

Ein mit einer geringeren Anzahl von Anschlüssen realisiertes Josephson-Spannungsnormal benötigt wegen der reduzierten Anzahl der Anschlüsse weniger Chipfläche und weniger Anschlußdrähte, wodurch weniger Mikrowellenverluste entstehen und weniger Kühlleistung bzw. Kühlmittel benötigt wird. Darüber hinaus reduziert sich die benötigte Anzahl von Stromquellen zur Anwahl der Stufen der Einheitsgrößen.

In der beigefügten Fig. 1 ist ein erfindungsgemäßes Josephson-Spannungsnormal schematisch dargestellt. Dabei sind zwischen Anschlüssen 11 jeweils eine zugehörige Anzahl von einem Josephson-Element 12, drei Josephson-Elementen 12, neun Josephson-Elementen 12 usw. dargestellt. Die zwischen den Anschlüssen in Serie geschalteten Josephson-Elemente können nur gemeinsam über die Anschlüsse 11 bestromt werden, allerdings mit beiden Stromrichtungen, so daß das jeweilige Vielfache der Einheitsspannung eines Josephson-Elements 12 mit positivem und mit negativem

Vorzeichen erzeugbar ist.

Der in Fig. 2 dargestellte Stromkomparator weist demgegenüber Wicklungen 21 auf, deren erste Wicklung eine Einheitswicklung "1" mit einer vorgegebenen Windungszahl ist. Die folgende Wicklung 21 enthält eine dreifache Windungszahl, die weiter folgende Wicklung 21 eine neunfache Windungszahl usw. Für die Funktion des Stromkomparators werden jeweils zwei Serien derartiger Wicklungen 21 benötigt, wenn der Stromkomparator nach dem Kompensationsprinzip arbeitet, indem die in einem Kern 22 bewirkten Durchflutungen gegeneinander aufgehoben werden.

Zur autarken Kalibrierung des Stromkomparators ist dieser mit einer zusätzlichen Einheitswicklung 23 versehen, die eine 1 : 1-Kalibrierung aller Wicklungen 21 relativ zu einer der Einheitswicklungen 21, 23 ermöglicht.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Verkörperung einer physikalischen Referenzgröße aus einer Summierung von Summationsgrößen, die eine Einheitsgröße oder ein Vielfaches der Einheitsgröße sind, zur Bildung von beliebig vorgegebenen ganzzahligen Vielfachen der Einheitsgröße, **dadurch gekennzeichnet**, daß für  $n = 0, 1, 2, \dots, m$  Summationsgrößen gebildet werden, die jedem  $3^n$ -fachen der Einheitsgröße entsprechen und daß durch ihre Summierung mit positivem oder negativem Vorzeichen und ggfs. durch ihre Außerachtlassung die beliebig vorgegebenen ganzzahligen Vielfachen der Einheitsgröße gebildet werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Summationsgrößen durch Summierung einer entsprechenden Anzahl der Einheitsgrößen gebildet werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Summationsgrößen unmittelbar als selbständige Werte ausgebildet werden.
4. Einrichtung zur Bildung einer physikalischen Referenzgröße als ganzzahliges Vielfaches einer Einheitsgröße, verkörpert aus einer Summierung von Summationsgrößen, die die verkörperte Einheitsgröße oder verkörperte Vielfache der Einheitsgröße sind, dadurch gekennzeichnet, daß für  $n = 0, 1, 2, \dots, m$  die Summationsgrößen für jedes  $3^n$ -fache der Einheitsgröße gebildet sind und daß ein Summationsnetzwerk die Summationsgrößen mit positivem oder negativem Vorzeichen und ggfs. gar nicht wirksam, schaltet.
5. Einrichtung nach Anspruch 4 in Form eines Spannungsnormals, in dem die Einheitsgrößen durch supraleitende Josephson-Elemente gebildet sind.
6. Einrichtung nach Anspruch 4 in Form eines Stromkomparators nach dem Prinzip eines Durchflutungsvergleichs derart, daß die Einheitsgröße durch eine Wicklung mit einer vorgegebenen Windungszahl gebildet ist.
7. Einrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Summationsgrößen jeweils durch eine Wicklung mit einer entsprechenden Windungszahl gebildet sind.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

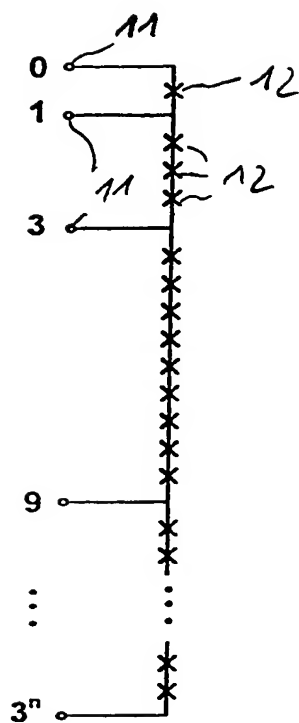


Fig. 1

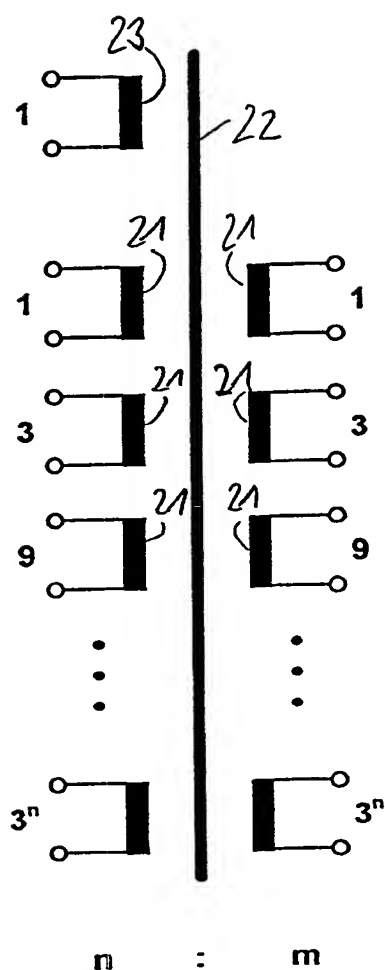


Fig. 2

(19) **Federal Republic of Germany**

[emblem]

**German Patent Office**

(12) **Offenlegungsschrift**  
[= Published Patent Application]

(10) **DE 198 01 658 C1**

(21) Application number: 198 01 658.1-52  
(22) Application date: January 17, 1998  
(43) Disclosure date: -  
(45) Publication date of patent grant: February 11, 1999

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>:

**G 01 D 21/00**  
**G 01 D 18/00**  
**G 01 R 35/00**  
**// H01L 39/22**

Opposition may be lodged within three months following publication of grant.

<p>(73) Patent holder: Federal Republic of Germany, represented by the Federal Minister of Economics, who is represented by the President of the Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 38116 Braunschweig, DE</p>	<p>(72) Inventor: Funck, Torsten, Dr.-Eng., 38124 Braunschweig, DE</p>
<p>(74) Representative: GRAMM, LINS &amp; PARTNERS, 38122 Braunschweig</p>	<p>(56) Documents taken into consideration to evaluate patentability:</p> <p>IEEE Trans. Instrum. Meas., 44, 1995, p. 223; Kohlrausch, F.: Praktische Physik, vol. 2, B.G. Teubner Stuttgart, 1985, pp. 40, 41, 57.</p>

(54) Method for Embodying a Physical Reference Quantity and Device for Forming a Physical Reference Quantity

(57) For the purpose of embodying a physical reference quantity by a summation of summation quantities, which are a standard size or a multiple of the standard size, for the purpose of forming all of the integral multiples of the standard size, summation quantities, corresponding to each  $3^n$ -fold ( $n = 0, 1, 2, \dots, m$ ) of the standard size, are formed from the standard sizes; and the summation quantities are used for summing with a positive or a negative sign or are not used at all. The physical reference quantities can be realized in this way with a smaller number of connections and taps.

**DE 198 01 658 C1**

Federal Printing Office 12/98 802 166/298/7A

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



## Specification

The invention relates to a method for embodying a physical reference quantity by a summation of summation quantities, which are a standard size or a multiple of the standard size, for forming randomly specified integral multiples of the standard size.

Furthermore, the invention relates to a device for forming a physical reference quantity as an integral multiple of a standard size, embodied by a summation of summation quantities, which are the embodied standard size or the embodied multiple of the standard size.

In principle it is known to produce comparison standards by cascading well known standard sizes (e.g. Kohlrausch, *Praktische Physik*, Stuttgart 1985, volume 2, page 57 for high impedance resistors). Furthermore, it is known that Josephson elements can be used as cryo-voltage standards (Kohlrausch et al., 40 f.). Consequently it is known to construct a cryo-voltage standard, as the embodied physical reference quantity, with a multiple of series-connected Josephson elements.

Josephson elements produce a defined voltage through absorption of microwave radiation, when they are put into a superconducting state by cooling to very low temperatures. The individual elements are actively connected by a direct current of a few mAs. For technological reasons the optimal operating frequency of such circuits is in the microwave range at 10 GHz, resulting in a voltage of 20  $\mu$ V. Therefore, if one wants to realize a voltage standard in the magnitude of 1 V, one needs 50,000 Josephson elements; hence for a voltage standard of 10 V, 500,000 series-connected elements. It is known from IEEE Trans. Instrum. Meas. 44 (1995), p. 223, to arrange the arrays of the elements in a binary sequence for the purpose of selecting each individual element so that taps at 1, 2, 4, 8,... elements respectively are provided for supplying current. Thus, for a voltage standard of 1 V, 16 taps and for 10 V, 19 taps are required. Since such voltage standards, the connections of which are limited, are realized on integrated circuits, one must accept in practice a loss of functionality of the voltage standard by simply dispensing with some of the connections.

A similar problem arises when constructing current comparators, where the throughflow is compared. In so doing, in the prior art method numerous coils with a binary-graduated number of turns are realized in order to compare the different current ratios. The number of taps, including the wiring required for said taps, is a limiting factor for a more compact construction of the current comparator.

**THIS PAGE BLANK**

Thus, the invention is based on the problem of enabling the embodiment of a physical reference quantity, which makes it possible to reduce the connections without loss of functionality.

The invention solves this problem with a method of the type described in the introductory part in that for  $n = 0, 1, 2, \dots, m$  summation quantities are formed that correspond to the  $3^n$ -fold of the standard size and that through their summation with a positive or a negative sign and optionally through their omission the randomly specified integral multiples of the standard size are formed.

For the purpose of solving the problem, a device for forming a physical reference quantity of the type described in the introductory part is also characterized in that for  $n = 0, 1, 2, \dots, m$ , the summation quantities for each  $3^n$ -fold of the standard size are formed and that a summation network actively connects the summation quantities with a positive or a negative sign and optionally not at all.

The invention is based on the exploitation of the knowledge that in most cases the standard sizes can be connected not only actively and inactively, but can also be realized, for example by reversing the direction of the current with a positive or a negative sign. According to the invention, in this case the standard sizes are series-connected in natural powers of three, so that the series connection is provided with taps after 1, 3, 9, 27, ... elements. The chains, formed in this way, are used as the summation quantities, and, for example, are supplied jointly with current.

Thus, for the aforementioned examples of a Josephson voltage standard for 1 V, the number of required taps decreases to 12, instead of 16, and for 10 V, to 14, instead of 19.

By forming the summation quantities according to the invention, each individual integral multiple of the standard size can be produced (even with a positive and with a negative sign). To this end, the individual summation quantities are used in a suitable manner with their positive or negative sign.

According to the example of a Josephson voltage standard, the summation quantities, thus the  $3^n$ -fold of the standard sizes, can be formed by summing a corresponding number of standard sizes. Therefore, the number of series-connected unit elements between two taps corresponds to a summation quantity.

According to the other embodiment of a current comparator, based on a throughflow comparison, it is, however, also possible not to use a corresponding plurality of standard sizes, but rather to form the  $3^n$ -fold of the standard size directly as

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

the independent value, in the example of the current comparator by means of a winding with a number of turns that is a natural power of three, compared to a basic number of turns.

Owing to the fewer number of taps, a current comparator, produced according to the invention, can be constructed distinctly more compactly than the conventional current comparators. At the same time a conventional incremental calibration is possible, because two winding chains are available to a current comparator, so that only one additionally calibrated unit winding is necessary to calibrate both unit windings of both winding chains, thereafter to calibrate the three-fold winding with the three unit windings and to calibrate, the nine-fold winding with the two calibrated three-fold windings and the three calibrated one-fold windings, etc.

Owing to the reduced number of connections, a Josephson voltage standard, realized with a small number of connections, requires less chip area and fewer connecting wires, with the result that the microwave losses are lower and less cooling power or rather coolant is required. In addition, the requisite number of current sources for selecting the stages of the standard sizes is reduced.

The attached **Figure 1** depicts an inventive Josephson voltage standard as a schematic. A related number of one Josephson element **12**, three Josephson elements **12**, nine Josephson elements **12**, etc. are shown between the respective connections **11**. The series-connected Josephson elements can be supplied only jointly with current by way of the connections **11**, yet with both directions of current, so that the respective multiple of the unit voltage of a Josephson element **12** can be produced with a positive and with a negative sign.

The current comparator, shown in **Figure 2**, exhibits windings **21**, the first winding of which is a unit winding "1" with a predetermined number of turns. The following winding **21** has a three-fold number of turns, the next following winding **21** has a nine-fold number of turns, etc. Two series of such windings **21** are required for the function of the current comparator, if the current comparator is to work according to the principle of compensation by mutually eliminating the throughflow in a core **22**.

For the purpose of automatic calibration of the current comparator, said comparator is provided with an additional unit winding **23**, which enables a 1:1 calibration of all windings **21** relative to one of the unit windings **21**, **23**.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

1. Method for embodying a physical reference quantity by a summation of summation quantities, which are a standard size or a multiple of the standard size, for the purpose of forming randomly specified integral multiples of the standard size, **characterized** in that for  $n = 0, 1, 2, \dots, m$ , summation quantities, corresponding to each  $3^n$ -fold of the standard size, are formed and that through their summation with a positive or a negative sign and optionally through their omission the randomly specified integral multiples of the standard size are formed.
2. Method, as claimed in claim 1, characterized in that the summation quantities are formed by summing a corresponding number of standard sizes.
3. Method, as claimed in claim 1, characterized in that the summation quantities are formed directly as independent values.
4. Device, for forming a physical reference quantity as an integral multiple of a standard size, embodied by a summation of summation quantities, which are the embodied standard size or embodied multiple of the standard size, characterized in that for  $n = 0, 1, 2, \dots, m$ , the summation quantities for each  $3^n$ -fold of the standard size are formed and that a summation network connects the summation quantities with a positive or a negative sign and optionally does not actively connect at all.
5. Device, as claimed in claim 4, in the form of a voltage standard, where the standard sizes are formed by superconducting Josephson elements.
6. Device, as claimed in claim 4, in the form of a current comparator according to the principle of a throughflow comparison so that the standard size is formed by a winding with a predetermined number of turns.
7. Device, as claimed in claim 6, characterized in that each standard size is formed by a winding with a corresponding number of turns.

-----  
2 pages of drawings  
-----

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



DE 198 01 658 C1

DRAWINGS PAGE 1

Number: **DE 198 01 658 C1**  
Int. Cl<sup>6</sup>: **G 01 D 21/00**  
Disclosure date: February 11, 1999

*Fig. 1*

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

DE 198 01 658 C1

DRAWINGS PAGE 2

Number: **DE 198 01 658 C1**  
Int. Cl<sup>6</sup>: **G 01 D 21/00**  
Disclosure date: February 11, 1999

*Fig. 2*

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**